

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

地面光達點雲資料架構轉換之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-004-001-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立政治大學地政學系

計畫主持人：黃灝雄

計畫參與人員：方偉凱

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 5 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

地面光達點雲資料架構轉換之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-004-001-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

計畫主持人：黃灝雄

共同主持人：

計畫參與人員：方偉凱

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立政治大學地政學系

中華民國九十五年七月三十一日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

地面光達點雲資料架構轉換之研究

計畫編號: NSC94-2211-E-004-001

執行期間: 94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人: 黃灝雄 執行機構與單位名稱: 國立政治大學地政學系

一、中文摘要

光達的使用，是目前測量領域的新趨勢，由於光達可在短時間之內，大量且快速地蒐集掃瞄物表面的三維資料，提供高精度的空間資訊重建被掃瞄物的立體模型。然而，無論是空載光達或是地面光達，掃瞄所得的原始資料通常是分佈不均勻的點雲資料，資料型態是以每個離散的掃瞄點為資料單元，其中包括點位三維坐標 (X,Y,Z)，及點位的反射值 I。從這些點雲資料中，是無法直接獲取空間資訊，必須透過特定的程序，或特殊的軟體處理，結構化這些點雲資料之後，才能萃取出空間資訊。而一般結構化處理點雲資料，大多是採用規則網格化的方式，這種方式並不有利於展現出點雲資料對於掃瞄物其細部描述的特點。本研究之主要目的在運用點雲資料中的三維坐標，透過點、線、面架構之轉換與整合，萃取出其空間平面的資訊，從而重新建立被掃瞄物的三維結構。

關鍵字: 地面光達、點雲、重建、近景、三維模型

Abstract

The application of lidar data is a new trend in the field of surveying. Lidar can collect quickly a great volume of the data of an object in three dimensions, and provide high precise space data for restructuring artificial objects. However, no matter air-based lidar or ground-based lidar, the primary data are point cloud scanned by lidar that are not usually distributed uniformly. Usually, the data of point cloud includes the three dimensional coordinates of point, and the brightness values. One cannot get spatial information from the point cloud directly. It must be processed and structured with special procedure or software. After being structured, it would be possible to get spatial information from the point cloud data. In general, point cloud is restructured in a raster format. But this way is not suit for describing the detail of an object. The major purpose of this research is therefore, to extract spatial information by using the three dimensional coordinates of point

cloud, structuring point cloud data and restructuring the object in a three dimensional framework.

Keywords : Ground-Based Lidar, Point cloud, Reconstruction, Close Range, Three-dimensional Model.

二、緣由及目的

光達的使用，開啟了蒐集物體表面資訊的另一扇門，由於它可以快速且高精度大量紀錄物體表面資訊，所以許多領域如藝術、建築、機械等，常利用光達來重建三維立體模型。在測量領域中，光達可簡分為兩種：空載光達與地面光達。一般來說，地面光達依實際需求，掃瞄距離可由數十公尺至數百公尺不等；另一方面，空載光達則在高空中進行掃瞄，其距離可達數百公尺甚至數千公尺以上，配合全球定位系統（GPS）及慣性導航系統（INS）的使用，並結合傳統地面測量及航空攝影測量技術，在生產地面高程模型及重建建物模型上，皆有廣闊的運用空間。無論是地面光達，或是空載光達，對地物表面資訊快速且高精度的獲取能力，已提供給測量人員一個嶄新的思考模式。

然而透過光達，利用雷射測距及光學掃瞄原理，掃瞄物件獲取的資料，為一群大量密佈於物體表面的三維點位，即所謂的點雲。主要是一群數量龐大，且分佈不均勻的點狀資料，資料的組成主要有空間三維坐標（X,Y,Z），及強度 I 等四個值。通常無法從這些原始的點雲資料，直接獲取空間資訊，必須透過一些特別的轉換、過濾，模式化或結構化，

之後，才能加以運用。因此，在重建模型的過程中，首先要做的就是進一步處理、過濾、結構化點雲資料，才得以進行後續之萃取空間資訊。

點雲資料的處理，簡言之，就是針對實際的目的與需求，分類、過濾及結構化點雲資料（Axelsson, 1999）。主要的目的是要從龐大的點雲資料中，找出所需的資訊，以利後續的處理與運用。常用的方式是應用影像處理，網格化點雲資料，內差為 2.5D 的規則網格之後，再利用其他處理方式，但在內差的過程中，常會損失一些空間資訊，不易突顯出點雲資料對於物體表面細部的描述。除上述的規則網格結構化的方式外，又可大致分成下述三種：型態學過濾法、曲線近似法、線性推估法等三種。

型態學過濾法主要是根據對物體形狀的描述，利用侵蝕（Erosion）或膨脹（Dilation）的概念，進行過濾。一般在影像處理的技術上，常用來抽取對表示和描述區域形狀有用的影像份量（Gonzalez and Woods, 1993）。運用在點雲的處理上，主要是根據對物體表面的描述，利用點位間的距離、高差、斜率或曲率等資訊，來定義符合表面點的條件，處理時則根據所設立的參數或是門檻值，考量局部範圍的點雲資料，逐步將非表面點排除。

曲面近似法，為 Axelsson 以適應性不規則三角網（Adaptive TIN）的概念所提出的方法。此法主要是初選較低的三個點來組成 TIN，逐一將可能是同一平面的點加入，反覆直到沒有新的點加入為止。判斷是否為共平面的根據，主要為計算點與三角網格頂點的夾角，與計算點到網格平面的距離。

線性推估的方式，建立在統計的理

論基礎上。如 Lohmann and Koch(1999) 利用過濾方法，先以擬和平面 (fitting plane) 的方式，利用平面斜截式計算趨勢面，並考慮兩點距離的協變函數 (covariance function) 來處理。Kraus and Pfeifer (1998) 則針對樹林區域的點雲資料以線性預估的方式來處理，此法根據平均高程來計算點位殘差，並且運用選權迭代的方式，讓殘差越大的點位的權，最後趨近於零，使其在迭代的過程中，自動排除，最後所剩的即為地面點。

本研究利用地面光達掃瞄地物，所得點雲資料，透過 (X,Y,Z) 三度空間坐標的特性，結構化點雲資料，找出一種新的點雲結構化之處理方式。本研究的目的是：利用三維坐標 (X,Y,Z) 的空間特性，並配合點、線、面等三者空間特徵的運用，重新將點雲結構化，萃取出所需的資訊。

三、結果與討論

(一) 實驗儀器

研究採用之使用儀器為 Leica 所製造的 HDS3000，使用的規標如圖 A、B 所示；配合用之處理軟體為 Cyclone 5.4。



圖 A、藍白標

圖 B、黑白標

(二) 研究資料的取得

由於地面光達必須以多重視角的方式掃瞄物體，才能得到一個較完整的個體，所以必須考慮到如何連結不同掃瞄視角的資料。本研究採用找尋共軛特徵的方式來連結，其原理是利用兩組資料間的共軛特徵，以三維坐標轉換方式，將兩組資料轉換成同一坐標系統。操作上是設立規標的方式，建立共軛點特徵。

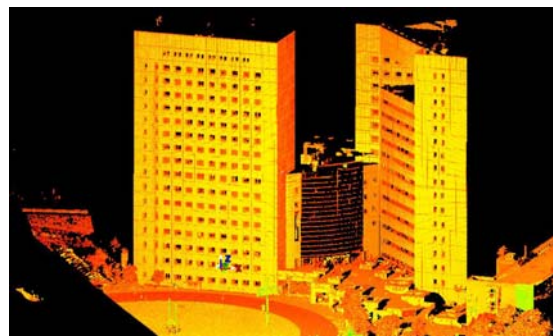


圖 C、掃瞄模型正面

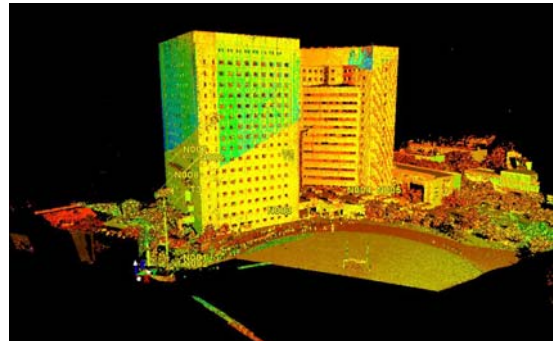


圖 D、掃瞄模型側面

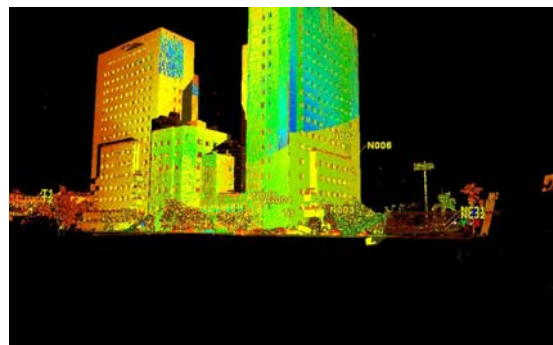


圖 E、掃瞄模型背面

(三) 點雲資料的特性

由於光達掃瞄時的隨機性、以及在邊際效應的影響下，無法直接從點雲資料中，明確指出建構模型所需的特徵點，但可藉由點雲本身的空間特性，以平差擬合的方式建立擬合平面，然後再藉由平面交會的方式，找出建物的幾何特徵點。

(四) 平面點雲資料的模組化

由於地面光達蒐集的點雲資料其分佈，有一定的趨勢，故可用數學擬合函數來描述整個分佈情況。

一般常用的平面方程式如下所示，

$$a_0x + b_0y + c_0z = d_0$$

將平面方程式改用函數式表示，如下式中之 z 為 x 、 y 的函數，

$$z = f(x, y) = \frac{a_0}{-c_0}x + \frac{b_0}{-c_0}y + \frac{d_0}{c_0}$$

$$= ax + by + c$$

式中，

$$a = \frac{a_0}{-c_0} \quad b = \frac{b_0}{-c_0} \quad c = \frac{d_0}{c_0}$$

假設每一筆點資料皆為等權之觀測量，代入平面方程式中，以最小自乘法求解平面方程式參數 (a, b, c) ，則觀測方程式為

$$AX = L + V$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

再以法方程式求解 X

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

$$V = AX - L$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{V^T V}{m - n}}$$

其中，

m 為觀測方程式個數

n 為參數個數。

整理上述平面函數式為

$$z = f(x, y) = ax + by + c \dots \dots \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} z &= a_1x + b_1y + c_1 \\ z &= a_2x + b_2y + c_2 \\ z &= a_3x + b_3y + c_3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

最後可求解得特徵點的三維坐標。

(六) 特徵點的精度檢核

由於掃瞄儀所建立的坐標系統是屬於任意坐標系統，須轉換至與物空間坐標體系比較，才能有一個合理的結果。所以比較上，必須藉由坐標轉換，首先將任意坐標系統中的特徵點坐標，轉換至物空間坐標系統，另與基於相同物空間坐標體系下，利用全測站所測得的結果進行比較，求其較差，並計算 RMSE，作為評斷精度好壞的標準。

表(一) 坐標系統轉換後整體殘差大小比較

	E-RMSE(m)	N-RMSE(m)	H-RMSE(m)	D-RMSE(m)
AandB	0.036	0.029	0.022	0.051
BtoA	0.071	0.063	0.034	0.101
AtoB	0.037	0.041	0.034	0.065

表(二) 坐標系統轉換前後個別殘差大小比較

A	E-RMSE(m)	N-RMSE(m)	H-RMSE(m)	D-RMSE(m)
轉換前	0.045	0.019	0.010	0.050
轉換後	0.048	0.048	0.040	0.079
B	E-RMSE(m)	N-RMSE(m)	H-RMSE(m)	D-RMSE(m)
轉換前	0.026	0.034	0.028	0.052
轉換後	0.086	0.083	0.045	0.128

由結果可見，以三個擬合平面交會求取特徵點，誤差約為 0.05m，與儀器官方公布的精度有些許的差距。在坐標轉換方面，由於累積了兩次坐標轉換的誤差，造成最後整體誤差的上升，且依轉換面不同，其影響量也不一。

此外，掃瞄站距離的遠近對精度所造成的影響並不明顯；而在計算擬合平面上，點的分佈越密集，所算出的擬合平面將更具有代表性；點的數目過少，相對算出的擬合平面其代表性可能就較為薄弱。而另外一方面的影響則在於取樣上：由於在取樣上是以人工方式隨機取樣，在點雲密級的情況下，可明顯看出點雲空間分佈的差異性，故可明確地擷取三個不同平面的點雲群。但相對的在點雲較稀疏的情況下，在擷取平面點雲群時會比較費力，且可能容易擷取到與平面鄰近但非同平面的點雲群，如此所算出的擬合平面就會有所偏差。在光達坐標系轉換至地面坐標系方面，由於累積了兩次坐標轉換的誤差，造成最後整體誤差的上升。

四、計畫成果自評

由實驗的結果來看，利用光達點雲來建立擬合平面後，以三個擬合平面交會出特徵點，其方法應為具體可行，精度上約為 $\pm 0.05\text{m}$ 。但與一般所公布的官方精度有所差距，推測其原因，可能是因為坐標轉換與地球曲率誤差累積影響，以及不同的精度衡量方式所造成的結果。

在掃瞄坐標系轉換至地面坐標系方面，由實驗結果來看，不論選擇哪一個掃瞄面當作基礎，皆會造成整體誤差的上升，但依選擇的不同，所造成的差異卻很大，故在選擇上，不可不慎。至於如何選擇，則有待進一步研究。

目前在建立最佳的擬合平面上，雖以剔除殘差過大的光達點作為篩選的手段，但由此所建立的擬合平面其真正代表性、解釋能力等，仍有待進一步研究。

此外，這種方式僅能篩選到零星、殘差過大的光達點，對於分佈呈系統性排列，而非共平面的點雲群，篩選的效果仍有改進的空間

五、參考文獻

1. 劉燈烈，『地面光達點雲資料的平差結合與影像數貼』，國立成功大學空間與資訊學系碩士論文，民國九十三年六月。
2. 賴智凱，『地面雷射掃描儀的精度分析與檢定』，國立成功大學空間與資訊學系碩士論文，民國九十三年六月。
3. 黃文利，『近景攝影測量運用於三維建物模型側面影像數貼之研究』，國立成功大學測量工程學系碩士論文，民國九十年六月。
4. 劉彥秀，『最小二乘模型與影像套合之後續探討』，國立成功大學測量工程學系碩士論文，民國九十二年六月。
5. 賴志恆，『雷射掃描點雲資料八分樹結構化之研究』，國立成功大學測量工程學系碩士論文，民國九十二年六月。
6. 王焱、賴志恆、曾義星，『LiDAR資料之八分樹分割與合併』，第二十二屆測量學術及應用研討會論文，民國九十二年九月。
7. 邵怡誠、陳良健，『利用光達資料於DTM生產及房屋偵測』，第二十二屆測量學術及應用研討會論文，民國九十二年九月。
8. Hans-Gerd Maas，『Least-Squares Matching with AirBorne Laserscanning Data in a TIN Structure』，ISPRS Congress，

- Amsterdam 2000 ◦
9. A.D. Hofmann , 『 ANALYSIS OF TIN-STRUCTURE PARAMETER SPACES IN AIRBORNE LASER SCANNER DATA FOR 3-D BUILDING MODEL GENERATION 』 , ISPRS Congress , 2004 ◦
 10. A.Rakusz-T.Lovas-A.Barsi , 『 LIDAR-BASED VEHICLE SEGMENTATION 』 , ISPRS Congress , 2004 ◦
 11. Valanis A., Tsakiri M. , 『 AUTOMATIC TARGET IDENTIFICATION FOR LASER SCANNERS 』 , ISPRS Congress , 2004 ◦
 12. KAZUO ODA TADASHI
TAKANO TAKESHI DOIHARA
RYOSUKE SHIBASAKI , 『 AUTOMATIC BUILDING EXTRACTION AND 3-D CITY MODELING FROM LIDAR DATA BASED ON HOUGH TRANSFORMATION 』 , ISPRS Congress , 2004 ◦